

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геофизики

«Оценка помехоустойчивости сложных полевых интерференционных систем, использованных при сейсморазведочных работах МОГТ-2D на Богородском лицензионном участке»

Автореферат к
дипломной работе

Студентки 6 курса 631 группы
020302 специальности геофизика
геологического факультета
Ореховой Юлии Ивановны

Научный руководитель

К. Г.-М.Н., доцент

подпись, дата

Э.С. Шестаков

Зав. кафедрой

К. Г.- М.Н., доцент

подпись, дата

Е.Н. Волкова

Саратов 2016

Введение. При проведении сейсморазведочных материалов МОГТ-2D для подавления низкоскоростных волн-помех поверхностного типа использовалось группирование источников и приёмников упругих колебаний, образующих сложные интерференционные системы (Сл ИС). Однако в Проекте на проведение на Богородском лицензионном участке (ЛУ) таких работ отсутствует обоснование параметров группирования, а в Отчете по данным работам – анализ их эффективности, хотя на полевых сейсмограммах уровень помех весьма высок и препятствует выделению отраженных волн. Это обстоятельство определило направление моей дипломной работы – оценку реальной помехоустойчивости сложных полевых интерференционных систем, применявшихся при сейсморазведочных работах на Богородском лицензионном участке. Второй предпосылкой к выбору темы дипломной работы послужило то, что на кафедре геофизики Саратовского университета в течение ряда лет ведутся инициативные научно-исследовательские работы по анализу свойств Сл ИС, применяемых в сейсморазведке.

Таким образом, целью данной дипломной работы является оценка помехоустойчивости сложных полевых интерференционных систем, реализованных при совместном применении группирования источников и приёмников упругих колебаний при проведении работ МОГТ-2D на БЛУ. Для её достижения необходимо было решить следующие задачи:

- рассмотреть сейсмогеологические особенности БЛУ;
- рассмотреть теоретические основы оценки помехоустойчивости Сл ИС;
- выполнить оценку помехоустойчивости применявшихся Сл ИС по отношению к наблюдаемым там волнам-помехам.

Дипломная работа, объёмом 45 страниц, состоит из Введения, четырех разделов (семи подразделов), Заключения и списка использованных источников.

В разделе 1 **"Геолого-геофизические особенности Богородского лицензионного участка"** рассматриваются геолого-геофизические особенности территории исследований.

1.1 Краткая геологическая характеристика территории работ. В подразделе рассмотрено местоположение участка исследований по отношению к основным геоструктурным элементам, краткая история изучения, приведены сведения о литологии и стратиграфии, рассмотрены перспективы территории в нефтегазоносном отношении.

1.2 Сейсмогеологическая характеристика района работ. В подразделе приведены общие характеристики поверхностных и глубинных сейсмогеологических условий, скоростные характеристики, временной разрез и сейсмограмма ОПВ, типичные для района исследований.

В разделе 2 **"Основы энергетической теории интерференционных систем"** рассматривается энергетическая теория интерференционных систем (ИС) как инструмент анализа их помехоустойчивости.

2.1 Основные понятия теории интерференционных систем. В подразделе определяется рассматриваемая модель волнового поля, как суперпозиция *идеально-регулярных волн* – плоские волны, распространяющиеся в бесконечном полупространстве без затухания. Сигналы, вызываемые ими в разных точках пространства, отличается лишь параметром времени.

Известно, что полезная компонента является лишь весьма небольшой частью общего объема информации, регистрируемой на сейсмограммах. Для разделения полей полезных волн и волн-помех (т.е. выделение полезных и подавление помех) могут быть использованы так называемые *интерференционные системы* (ИС), суммирующие совокупность сигналов, поступающую на их входы. При этом стремятся обеспечить синфазное сложение выделяемых колебаний и несинфазное – подавляемых.

В качестве интерференционной системы может выступать группа приёмников и группа источников сейсмических колебаний в сочетании со средой их

распространения, где волны, вызываемые каждым из источников, распространяются в соответствии с принципом суперпозиции.

Рассмотрены *дискретные линейные* ИС обладающие конечным количеством входов с чувствительностью μ_i , где i - номер входа расположенные вдоль линий наблюдения. В зависимости от характера распределения; чувствительности можно рассматривать *однородные* системы, где чувствительность не зависит от координат входа, и *неоднородные*. В дискретных линейных интерференционных системах кроме того выделяют *равномерные*, где расстояние между соседними входами является величиной постоянной, и *неравномерные*.

В линейных интерференционных системах под базой группы понимается расстояние между крайними входами этой системы (D).

Необходимая степень подавления волны-помехи, интерферирующей с полезными волнами, может быть выражена как (формула 1)

$$B = a \frac{A_{ном}}{A_{пол}} \quad (1)$$

где B – необходимая степень ослабления волны-помехи;
 $A_{ном}$ – среднее значение амплитуды волны-помехи;
 $A_{пол}$ – среднее значение амплитуды полезной волны интерферирующей с рассматриваемой помехой;
 a – коэффициент, определяемый требуемым качеством ослабления волны-помехи (при $a=2\div 3$ – ослабление удовлетворительное, при $a = 8\div 10$ –хорошее).

Предположим, что некоторая волна на плоскости наблюдения в некоторой начальной точке создает сигнал $f(t)$. Тогда в произвольной точке сигнал можно представить как (формула 2):

$$f_i(t) = f(t + \Delta t_i) \quad (2)$$

где Δt_i , – запаздывание волны в i -той точке по отношению к начальной;

Сигнал на выходе дискретной ИС можно представить как (формула 3):

$$f_{вых}(t) = \sum_{i=1}^n \mu_i f(t + \Delta t_i) \quad (3)$$

где μ_i – чувствительность i -того входа системы ($1 \leq i \leq n$, здесь n – количество входов).

2.2 Аналитический аппарат энергетической теории интерференционных систем. В подразделе рассмотрена целевая функция энергетической теории ИС, её свойства и способ вычисления

Сигнал на выходе дискретной интерференционной системы, имеющей n входов с чувствительностью μ_i , описывается выражением (3) Энергия сигнала на выходе системы, согласно выражению (формула 1.7), будет (формула 4):

$$E_{\text{вых}} = \int_{-\infty}^{\infty} [f_{\text{вых}}(t)]^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\sum_{i=1}^n \mu_i f(t + \Delta t_i) \right]^2 dt \quad (4)$$

Целевой функцией энергетической теории ИС является коэффициент направленного действия

Коэффициентом направленного действия (КНД) интерференционной системы называется отношение энергии сигнала некоторой волны на выходе интерференционной системы к максимально возможной энергии выходного сигнала той же волны в той же системе (формула 5):

$$КНД = \frac{E_{\text{вых}}}{E_{\text{вых}}^{\max}} \quad (5)$$

Максимальная энергия на выходе интерференционной системы реализуется при $\Delta t_i = \text{const}$, т. е. при синфазном сложении колебаний (максимально возможную энергию сигнала той же волны можно получить, собрав все входы этой системы в одну точку). Тогда (формула 6):

$$E_{\text{вых}}^{\max} = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\sum_{i=1}^n \mu_i f(t) \right]^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\sum_{i=1}^n \mu_i \right]^2 f^2(t) dt = \left[\sum_{i=1}^n \mu_i \right]^2 \int_{-\infty}^{\infty} f^2(t) dt \quad (6)$$

Подставляя в выражение КНД (формула 1.11) выражения (формула 1.9) и (формула 1.10) получим (формула 7):

$$КНД = \frac{E_{вых}}{E_{вых}^{max}} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \left[\sum_{i=1}^n \mu_i f(t + \Delta t_i) \right]^2 dt}{\left[\sum_{i=1}^n \mu_i \right]^2 \int_{-\infty}^{\infty} f^2(t) dt} \quad (7)$$

КНД характеризует степень ослабления волны за счет действия интерференционной системы с входами, размещенными в разных точках плоскости наблюдения и обладающими чувствительностью μ_i .

В качестве аргумента функции КНД обычно используется безразмерное выражение $\Delta t / T^* \cong D/\lambda^*$, где Δt – величина максимального запаздывания в пределах рассматриваемой интерференционной системы (т.е. $0 \leq \Delta t_i \leq \Delta t$), а T^* – величина преобладающего (видимого) периода импульса, D – база интерференционной системы, λ^* – кажущаяся-длина волны. Оба эти аргумента тождественны друг другу.

Аналитическое выражение формы сигнала, как правило, неизвестно, поэтому для расчета КНД функцию $f(t)$ заменяют каким-либо другим выражением, удовлетворительно аппроксимирующим ее. В работах [3, 4] для этой цели использован нуль-фазовый импульс Пузырева (формула 8):

$$f(t) = e^{k^2 t^2} \sin \omega(t + \psi) = e^{k^2 T^2 (t/T)^2} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{\psi}{T} \right), \quad (8)$$

где k – коэффициент затухания огибающей экспоненты;

ω – круговая частота гармонической заполняющей;

ψ – фазовый сдвиг.

Подставив выражение (8) в формулу (7) и выполнив некоторые математические преобразования можно получить явное выражение КНД (формула 9):

$$КНД \approx \frac{1}{\left[\sum_{i=1}^n \mu_i \right]^2} \left[\sum_{i=1}^n \mu_i^2 + 2 \sum_{\substack{\ell=1, r=\ell+1 \\ \ell \neq r}}^{(n-1), n} e^{-\frac{k^2 T^2}{2} \left(\frac{\Delta t}{T} \right)^2 (\ell-r)^2} \times \cos 2\pi \left(\frac{\Delta t_\ell - \Delta t_r}{T} \right) \right] \quad (9)$$

Для частного случая однородной системы (формула 10):

$$KHD \approx \frac{1}{n^2} \left[n + 2 \sum_{\substack{\ell=1, r=\ell+1 \\ \ell \neq r}}^{(n-1), n} e^{-\frac{k^2 T^2}{2} \left(\frac{\Delta t}{T}\right)^2 \times (\ell-r)^2} \times \cos 2\pi \frac{\Delta t}{T} (\ell-r) \right] \quad (10)$$

Для описания параметров интерференции используется понятие *амплитудно-временного аналога* (АВА). АВА включает в себя распределение чувствительности элементов ИС и запаздываний некоторой идеально-регулярной волны на входах системы. АВА не зависит от физической сущности интерференционной системы, а зависит только от параметров системы и волнового поля, т.е. отражает структуру интерференции.

$$\begin{array}{l} \text{Форма записи АВА:} \quad \mu_i: \quad \mu_1 \quad \mu_2 \quad \mu_3 \quad \mu_4 \quad \mu_5 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad * \quad * \quad * \quad * \quad * \\ \Delta t_i: \quad \Delta t_1 \quad \Delta t_2 \quad \Delta t_3 \quad \Delta t_4 \quad \Delta t_5 \end{array}$$

Здесь * – условное обозначение элемента системы, где $\mu_i \neq 0$,

Δt_i – запаздывание регистрируемой волны .

Таким образом, по заданным параметрам импульса (k, T, ψ) и серии амплитудно-временных аналогов можно рассчитать график КНД, описывающий свойства конкретной интерференционной системы. Естественно, что разным параметрам импульса будут соответствовать и разные графики КНД. Обычно рассматриваются двухпериодные ($\gamma = k^2 T^2 = 3$), трехпериодные ($\gamma = 0.8$) и реже – пятипериодные импульсы ($\gamma=0.2$).

2.3 Оценка направленных свойств сложных интерференционных систем. В подразделе изложен подход к оценке помехоустойчивости сложных интерференционных систем, разработанный на кафедре геофизики Саратовского университета.

Рассматривая интерференционные системы как системы линейные, опираясь на присущий им принцип суперпозиции и вытекающий из него принцип взаимности, можно построить корректный алгоритм оценки свойств сложных интерференционных систем. Суть его легко уяснить из следующего примера.

Пусть имеется равномерная группа из пяти сейсмоприемников с чувствительностями $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4, \Gamma_5$, регистрирующая сигнал, возбуждаемый равномерной группой из четырех источников с интенсивностями излучения s_1, s_2, s_3, s_4 , изображенные на рисунке 1. Пусть расстояние между соседними приемниками равно d . Сигнал на выходе системы можно представить как сумму сигналов, принятых группой приемников порознь от источника s_1, s_2, s_3 , и s_4 . В соответствии с принципом взаимности такую систему можно заменить, как показано на рисунке, эквивалентной системой с одним источником единичной интенсивности, находящемся на месте источника s_1 , и группой приемников из 20-ти элементов, объединенных в 4 группы по 5 элементов в каждой. Каждая из групп сдвинута по отношению к соседней на величину шага между соседними источниками. Интенсивности составляющих суммарного сигнала, регистрируемые в i -той точке от j -того источника можно представить как $\Gamma_i \cdot s_j$ и рассматривать их как чувствительность элементов эквивалентной системы.



Рисунок 1 – Сложная интерференционная система. Формирование эквивалентной интерференционной системы.

При совпадении местоположения элементов эквивалентной системы они рассматриваются как один элемент, чувствительность которого равна сумме чувствительностей объединяемых элементов. Из рисунка 1 легко видеть, что объединение двух равномерных и однородных систем формирует в общем случае неравномерную и неоднородную эквивалентную систему.

На кафедре геофизики Саратовского государственного университета был разработан новый подход к описанию взаимодействия компонент сложных интерференционных систем, рассмотренный в работе [8]. Для описания интерференционных систем предложено использовать *амплитудно-геометрический аналог* (АГА). В АГА каждый элемент интерференционной системы описывается значением его удаления от начальной точки системы (dx) и чувствительностью (интенсивностью излучения) μ . В отличие от АВА, где значение запаздывания сигнала зависит от характеристик волнового поля (конкретно – от кажущейся скорости регулярной волны), АГА инвариантен по отношению к характеристикам волнового поля и легко пересчитывается в АВА.

Рассмотренный подход реализован в программе KND_SLIS_2D_graf для систем линейного продольного профилирования.

В разделе 3 "**Программно- алгоритмическое обеспечение**" рассмотрена программа KND_SLIS_2D_graf, в которой реализован вышеописанный алгоритм. Её рабочее окно показано на рисунке 3.

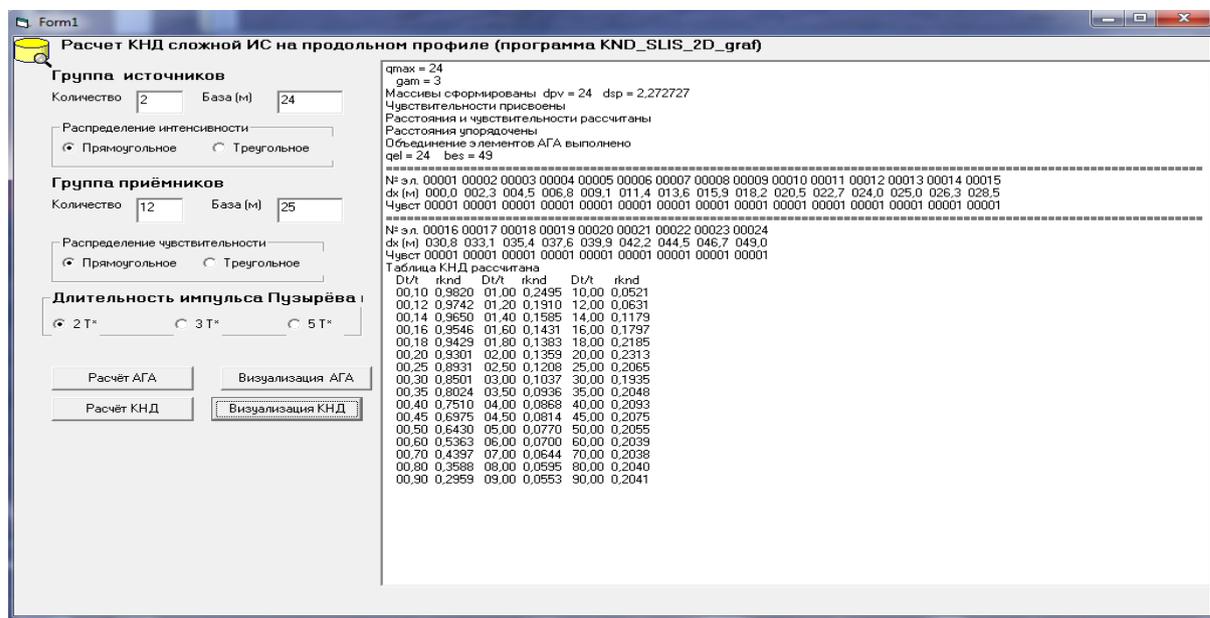


Рисунок. 3 -Рабочее окно программы KND_SLIS_2D_graf

Задание численных значений исходных данных осуществляется в левой части окна в соответствующих текстовых полях. Выбор относительной длительности импульса сигнала реализован с помощью переключателей. Запуск подпрограмм ("Расчет АГА", "Визуализация АГА", "Расчет КНД", "Визуализация

КНД") осуществляется "нажатием" соответствующих виртуальных кнопок. Визуализация служебных сообщений программы и результатов счета выполняется в текстовом поле в правой части рабочего окна.

В разделе 4 "Результаты оценки помехоустойчивости" приведены основные сведения о методике сейсморазведочных работ МОГТ-2D работ на Богородском ЛУ, анализ сейсмограмм ОПВ и определение характеристик доминирующих волн-помех, анализ потенциальной помехоустойчивости использованной Сл ИС.

4.1 Основные сведения по методике исследований. В подразделе приведены основные сведения о методике возбуждения упругих колебаний и системе наблюдения, которые применялись в рассматриваемых работах. Для решения задач дипломной работы требовались сведения о группировании источников и приемников – группа из 2-х вибраторов с базой 24м и группа из 12-ти сейсмоприемников с базой 25 м.

4.2 Определение характеристик волн-помех. В подразделе рассмотрена методика анализа волнового поля по сейсмограммам ОПВ и определение характеристик волн-помех поверхностного типа. Было выделено пять волн, характеристики которых приведены в таблице 1.

Таблица 1- Характеристики волн-помех

Условный номер	V^* (м/с)	T^* (с)	f^* (Гц)	λ^* (м)	$\tau_{имп}$ (в долях T^*)
1	422	0,13	7,7	54,9	2
2	655	0,11	9,1	72,1	3
3	1672	0,1	10	167,2	2
4	2192	0,08	12,5	175,4	3
5	2343	0,08	12,5	187,4	3

Из таблицы видно, что волны 1 и 2 можно отнести к низкоскоростным, волну 3 – к среднескоростным, а волны 4 и 5 – к высокоскоростным помехам.

По программе KND_SLIS_2D_graf были рассчитаны графики $\sqrt{КНД}$ (D/λ^*) и определены значения $\sqrt{КНД}$ для всех выделенных волн, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 -Значения $\sqrt{КНД}$ и степени ослабления выделенных помех

Условный номер	λ^* (м)	D/λ^*	$\tau_{имп}$ (в долях T^*)	$\sqrt{КНД}$	B
1	54,9	0,893	2	0,302	3,311
2	72,1	0,680	3	0,410	2,439
3	167,2	0,293	2	0,860	1,163
4	175,4	0,279	3	0,870	1,149
5	187,4	0,261	3	0,890	1,124

Из рассмотрения таблицы следует, что:

- высокоскоростные волны-помехи 4 и 5 находятся в полосе пропускания Сл ИС ($\sqrt{КНД} \geq 0,707, D/\lambda^* \leq 0,454$);
- среднескоростная волна 3 находится у самой граница этой полосы и ослабляется незначительно;
- степень ослабления низкоскоростных помех 1 и 2 тоже невелика и составляет приблизительно 3.3 и 2.4 раза, соответственно.

Из этого следует, что помехоустойчивость Сл ИС, использованной при сейсморазведочных работах МОГТ-2D на Богородском лицензионном участке невысока. Об этом же свидетельствует и вид сейсмограмм ОПВ, где на фоне волн-помех выделить отраженные волны практически невозможно.

Численно оценить эффективность использованной Сл ИС не представляется возможным, поскольку отсутствуют данные об отношениях интенсивностей полезных (однократно отраженных волн и волн-помех поверхностного типа в зонах их интерференции.)

Заключение. Подводя итоги выполненной работе можно констатировать, что при подготовке данной дипломной работы:

- рассмотрены сейсмогеологические особенности Богородского ЛУ с точки зрения постановки сейсморазведочных работ МОГТ-2D и особенностей регистрируемого волнового поля;
- рассмотрены основы энергетической теории интерференционных систем как математического аппарата оценки помехоустойчивости Сл ИС;

- рассмотрена программно-методическое обеспечение, использованное при оценке помехоустойчивости Сл ИС;
- рассмотрены основные характеристики методики работ МОГТ-2D на Богородском ЛУ и в частности параметры группирования источников и приемников упругих колебаний;
- выполнена оценка помехоустойчивости Сл ИС, применявшихся на БЛУ, по отношению к наблюдаемым там волнам-помехам;
- было установлено, что Сл ИС, применявшаяся на Богородском ЛУ, не подавляет высоко- и среднескоростных волн-помех, а степень ослабления низкоскоростных не превышает 3.3.
- оценить эффективность рассматриваемых ИС не представляется возможным, поскольку отсутствуют сведения о соотношении амплитуд полезных волн и волн-помех в зонах их интерференции. Таким образом, можно констатировать что все задачи, поставленные перед данной дипломной работой выполнены в полном объеме и её достигнута.